

Verfahren zur Bestimmung der Ansteuerspannung eines piezoelektrischen Aktors eines Einspritzventils

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Ansteuerspannung eines piezoelektrischen Aktors eines Einspritzventils nach der Gattung des Anspruchs 1.

Aus der DE 100 32 022 A1 geht ein Verfahren zur Bestimmung der Ansteuerspannung für einen piezoelektrischen Aktor eines Einspritzventils hervor, bei dem vor dem nächsten Einspritzvorgang zunächst indirekt der Druck in einem hydraulischen Koppler gemessen wird. Der Druck wird dadurch gemessen, daß der piezoelektrische Aktor mechanisch mit dem hydraulischen Koppler gekoppelt ist, so daß der Druck eine entsprechende Spannung im Piezo-Aktor induziert. Diese induzierte Spannung wird vor dem nächsten Einspritzvorgang zur Korrektur der Ansteuerspannung u.a. für den Aktor verwendet. Eine zu geringe induzierte Spannung dient zur Erkennung eines Einspritzaussetzers. Das Einspritzventil wird vorzugsweise zur Kraftstoffeinspritzung für einen Benzin- oder Dieselmotor, insbesondere für Common-Rail-Systeme, verwendet. Der Druck in dem hydraulischen Koppler hängt dabei u.a. auch vom Raildruck ab, so daß die Ansteuerspannung in Abhängigkeit von dem Raildruck variiert wird. Der Spannungsbedarf eines piezoelektrischen Aktors hängt in erster Linie vom Druck im Ventilraum sowie von der Längenausdehnung des piezoelektrischen Aktors ab. Die zum ordnungsgemäßen Betrieb des Injektors an einem Arbeitspunkt notwendige Spannung ist der sogenannte Spannungsbedarf,

das heißt der Zusammenhang zwischen Spannung und Hub bei einer bestimmten Kraft, die proportional zum Raildruck ist.

Die Ableitung des aktuellen Spannungsbedarfs eines Injektors aus der Spannungsdifferenz zwischen maximaler Aktorspannung und stationärer Endspannung geht aus der DE 103 15 815.4 hervor.

Problematisch ist nun, daß der Spannungsbedarf eines Injektors über die Lebensdauer des Injektors driftet. Diese Drift bewirkt, daß die arbeitspunktabhängig vorgegebene Aktorspannung keinen ordnungsgemäßen Betrieb des Injektors an einem vorgegebenen Betriebspunkt gewährleistet. Dies führt zu Fehlern in der Einspritzmenge, die wiederum negative Abgaswerte und negative Geräuschemissionen verursachen. Im ungünstigsten Fall kann es sogar zu einem Ausfall der Einspritzung und somit zum Ausfall des Injektors kommen, nämlich dann, wenn der Hub nicht mehr zum Öffnen einer Düsenadel ausreicht.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, diese Drift des Spannungsbedarfs zu kompensieren.

Vorteile der Erfindung

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Bestimmung der Ansteuerspannung eines piezoelektrischen Aktors eines Einspritzventils mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, die Drift des Spannungsbedarfs durch eine Anpassung des Spannungssollwertes auszugleichen und somit sicherzustellen, daß der geforderte, nominelle Aktorhub erreicht und der ordnungs- und wunschgemäße Betrieb des Injektors über die gesamte Lebensdauer sichergestellt ist. Eine Adaption des Spannungsbedarfs hat zudem den Vorteil, daß nicht grundsätzlich mit einem sehr hohen Spannungsvorhalt angesteuert werden muß, wodurch sich erhebliche Vorteile in bezug auf die Leistungsaufnahme/Verlustleistung ergeben. Darüber hinaus kann die Adaption des Spannungsbedarfs auch zu Diagnosezwecken verwendet werden, um beispielsweise bei einer unzulässig hohen Drift des Spannungsbedarfs eine Fehlermeldung auszugeben.

Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Verfahrens möglich.

Die Regelung der Drift des Spannungsbedarfs erfolgt vorteilhafterweise während eines Fahrzyklus eines die Brennkraftmaschine aufweisenden Fahrzeugs, wobei die während des Fahrzyklus ermittelten Korrekturwerte in einem nichtflüchtigen Speicher gespeichert werden. Hierdurch wird insbesondere die Möglichkeit eröffnet, die in dem Speicher gespeicherten Korrekturwerte in einem späteren Fahrzyklus als Initialisierungswerte für eine weitere Kompensation der Drift des Spannungsbedarfs zu verwenden.

Um sicherzustellen, daß eine Anpassung nur bei einer tatsächlichen Drift des Spannungsbedarfs vorgenommen wird, das heißt nicht nachgeregelt wird, wenn nur temporäre, kleinere Abweichungen, die zum Beispiel durch Temperatureffekte hervorgerufen werden, vorliegen, ist vorzugsweise eine Freigabelogik vorgesehen, die eine Adaption der Drift des Spannungsbedarfs in Abhängigkeit von der Brennkraftmaschine und/oder das Einspritzventil charakterisierenden Parametern freigibt.

Diese Parameter sind beispielsweise die Temperatur der Brennkraftmaschine und/oder der Raildruck und/oder der stationäre Zustand der Spannungsregelung und/oder der Zustand der Ladezeitregelung und/oder der stationäre Zustand anderer unterlagerter Regelkreise und/oder die Anzahl der Einspritzungen und/oder die Ansteuerdauer und/oder die Einspritzsequenz pro Arbeitsspiel, das heißt gewissermaßen das Einspritzmuster (Voreinspritzung(en), Haupteinspritzung, Nacheinspritzung(en)).

Besonders vorteilhaft erfolgt die Kompensation des Spannungsbedarfs bei verschiedenen Arbeitspunkten bezüglich des Raildrucks, wobei die Korrekturwerte in Korrekturkennfeldern abgelegt werden, die dann auch im nichtflüchtigen Speicher, beispielsweise einem E²-PROM gespeichert werden.

Zeichnung

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung sowie der zeichnerischen Darstellung eines Ausführungsbeispiels der Erfindung.

In der Zeichnung zeigen:

- Fig. 1 den schematischen Aufbau eines aus dem Stand der Technik bekannten Einspritzventils;
- Fig. 2 schematisch ein Schaubild der Aktorspannung über der Zeit während einer Ansteuerung und
- Fig. 3 schematisch ein Blockschaltbild einer von dem erfindungsgemäßen Verfahren Gebrauch machenden Regeleinrichtung.

Beschreibung

Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung ein aus dem Stand der Technik bekanntes Einspritzventil 1 mit einer zentralen Bohrung. Im oberen Teil ist ein Stellkolben 3 mit einem piezoelektrischen Aktor 2 in die zentrale Bohrung eingebracht, wobei der Stellkolben 3 mit dem Aktor 2 fest verbunden ist. Der Stellkolben 3 schließt nach oben hin einen hydraulischen Koppler 4 ab, während nach unten eine Öffnung mit einem Verbindungskanal zu einem ersten Sitz 6 vorgesehen ist, in dem ein Kolben 5 mit einem Ventilschließglied 12 angeordnet ist. Das Ventilschließglied 12 ist als doppelt schließendes Steuerventil ausgebildet. Es verschließt den ersten Sitz 6, wenn der Aktor 2 in Ruhephase ist. Bei Betätigung des Aktors 2, das heißt beim Anlegen einer Ansteuerspannung U_a an den Klemmen +, -, betätigt der Aktor 2 den Stellkolben 3 und drückt über den hydraulischen Koppler 4 den Kolben 5 mit dem Verschließglied 12 in Richtung auf einen zweiten Sitz 7. Unterhalb des zweiten Sitzes ist in einem entsprechenden Kanal eine Düsennadel 11 angeordnet, die den Auslauf in einem Hochdruckkanal (Common-Rail-Druck) 13 schließt oder öffnet, je nachdem, welche Ansteuerspannung U_a anliegt. Der Hochdruck wird durch das einzuspritzende Medium, beispielsweise Kraftstoff für einen Verbrennungs-

motor, über einen Zulauf 9 zugeführt, über eine Zulaufdrossel 8 und eine Ablaufdrossel 10 wird die Zuflußmenge des Mediums in Richtung auf die Düsen-nadel 11 und den hydraulischen Koppler 4 gesteuert. Der hydraulische Koppler 4 hat dabei die Aufgabe, einerseits den Hub des Kolbens 5 zu verstärken und andererseits das Steuerventil von der statischen Temperaturdehnung des Aktors 2 zu entkoppeln. Die Wiederbefüllung des Kopplers 4 ist hier nicht dargestellt.

Nachfolgend wird die Funktionsweise dieses Einspritzventils näher erläutert. Bei jeder Ansteuerung des Aktors 2 wird der Stellkolben 3 in Richtung des hydraulischen Kopplers 4 bewegt. Dabei bewegt sich auch der Kolben 5 mit dem Verschließglied 12 in Richtung auf den zweiten Sitz 7 zu. Über Leckspalte wird dabei ein Teil des im hydraulischen Kopplers 4 befindlichen Mediums, beispielsweise der Kraftstoff, herausgedrückt. Zwischen zwei Einspritzungen muß daher der hydraulische Koppler 4 wiederbefüllt werden, um seine Funktionssicherheit zu erhalten.

Über den Zulaufkanal 9 herrscht ein hoher Druck, der beim Common-Rail-System beispielsweise zwischen 200 und 2000 bar betragen kann. Dieser Druck wirkt gegen die Düsen-nadel 11 und hält sie geschlossen, so daß kein Kraftstoff austreten kann. Wird nun infolge der Ansteuerspannung U_a der Aktor 2 betätigt und damit das Verschlußglied 12 in Richtung des zweiten Sitzes bewegt, baut sich der Druck im Hochdruckbereich ab und die Düsen-nadel 11 gibt den Einspritzkanal frei. Mit P_1 ist der sogenannte Kopplerdruck bezeichnet, wie er im hydraulischen Koppler 4 gemessen wird. Im Koppler 4 stellt sich ohne Ansteuerung U_a ein stationärer Druck P_1 ein, der beispielsweise 1/10 des Drucks im Hochdruckteil ist. Nach dem Entladen des Aktors 2 ist der Kopplerdruck P_1 näherungsweise 0 und wird durch Wiederbefüllung wieder angehoben.

Der Hub und die Kraft des Aktors 2 korrelieren nun mit der Spannung, mit der der Aktor 2 aufgeladen wird. Da die Kraft proportional zum Raildruck ist, muß die Spannung für einen geforderten Aktorhub zum sicheren Erreichen des Sitzes 7 raildruckabhängig angepaßt werden. Die zum ordnungsgemäßen Betrieb des Einspritzventils oder Injektors 1 an einem Arbeitspunkt notwendige Spannung ist der sogenannte Spannungsbedarf, das heißt der Zusammenhang zwischen Spannung und Hub bei einer bestimmten Kraft, die proportional zum Raildruck ist. Aus der DE 103 158 15.4 geht hervor, wie aus der Spannungs-

differenz zwischen maximaler Aktorspannung und stationärer Endspannung der individuelle, aktuelle Spannungsbedarfs eines Injektors abgeleitet werden kann.

Dieser Spannungsbedarf driftet nun über die Lebensdauer des Injektors 1. Die Drift bewirkt, daß die arbeitspunktabhängige vorgegebene Aktorspannung nicht mehr einen ordnungsgemäßen Betrieb des Injektors 1 am spezifizierten Betriebspunkt gewährleistet, was zu Fehlern in der Einspritzmenge mit Konsequenzen auf Abgaswerte/Geräusch, bis hin zu einem Ausfall des Injektors, führt, wenn nämlich der Hub nicht mehr zum Öffnen der Düsennadel 11 ausreicht. Das nachfolgend beschriebene Verfahren ermöglicht es, diese Drift des Spannungsbedarfs injektorindividuell zu kompensieren.

Grundidee der Erfindung ist es, die Drift des Spannungsbedarfs durch eine Anpassung des Spannungssollwertes auszugleichen und somit sicherzustellen, daß der geforderte nominelle Aktorhub erreicht und der ordnungs- und wunschgemäße Betrieb des Injektors 1 über dessen gesamte Lebensdauer sichergestellt werden kann. Damit wird zum einen die Funktion des Aktors 2 sichergestellt, aber auch die vorbeschriebenen Fehler der Einspritzmenge vermieden.

Eine solche Adaption des Spannungsbedarfs vermeidet auch, grundsätzlich mit einem sehr hohen Spannungsvorhalt anzusteuern, was insbesondere in bezug auf die Leistungsaufnahme/Verlustleistung einer Steuereinrichtung vorteilhaft ist und ferner den Verschleiß des Aktors 2 reduziert, da der Aktor 2 nicht über eine gesamte Lebensdauer nicht mit einem großen Spannungsvorhalt betrieben werden muß, der zu einem zu hohen Kraftüberschuß im Ventilsitz führt.

Darüber hinaus kann durch Überwachung des Korrekturingriffs der Adaption auch eine Diagnose des gesamten Einspritzventils erfolgen, beispielsweise wenn eine unzulässig hohe Drift des Spannungsbedarfs festgestellt wird.

Die Adaption der Drift des Spannungsbedarfs basiert auf einer injektorindividuellen Regelung der Spannungsdifferenz zwischen Abschaltspannungsschwelle U_{Ab} und gemessener, stationärer Endspannung U_{Regel} (vgl. Fig. 2) auf einen für einen Arbeitspunkt geforderten Sollwert ΔU_{soll} , der mit dem geforderten Aktorhub eines nicht gedrifteten, das

heißt sich nominal verhaltenden Injektors korreliert. Diese Regelung greift korrigierend durch injektorindividuelle Anpassung der Aktorsollspannung ein, wie es nachfolgend in Verbindung mit Fig. 3 näher beschrieben wird.

In einer Recheneinheit 310 wird eine Aktorsollspannung U_{soll} berechnet. Während des Fahrzyklus wird fortwährend die Differenz ΔU_{ist} der Abschaltspannung U_{Ab} und der Regelspannung U_{Regel} bestimmt. Diese Differenz ΔU_{ist} wird mit einer vorgegebenen Größe ΔU_{soll} verglichen, wobei in einem Verknüpfungspunkt 320 die Differenz der Größe ΔU_{soll} und ΔU_{ist} bestimmt wird. Diese Differenz $e_{\Delta U}$ bildet die Eingangsgröße für einen beispielsweise PI-Regler, in dem jeweils für die einzelnen Zylinder unterschiedliche Regler 331, 332, 33n vorgesehen sind. In diesen Reglern werden jeweils zylinderindividuelle Korrektursignale S_1 , S_2 , S_n bestimmt und ausgegeben, wobei n die Zahl der Zylinder bezeichnet.

Die Korrekturwerte werden entweder mit der in der Recheneinheit 310 bestimmten Sollspannung U_{soll} multipliziert oder alternativ zu dieser addiert, was durch Verknüpfungspunkte 341, 342 angedeutet ist. Die so ermittelten korrigierten Werte $U_{\text{sollkorrt}}$ werden einer Aktorspannungsregeleinrichtung 350 zugeführt, welche die Abschaltspannungsschwelle U_{Ab} ermittelt. Diese Abschaltspannungsschwelle U_{Ab} wird nun zusammen mit der sich einstellenden stationären Endspannung U_{Regel} wiederum zur Bestimmung der Differenz ΔU_{ist} herangezogen.

Die während eines Fahrzyklus gelernten Korrekturwerte S_1 , S_2 , ..., S_n werden vorzugsweise nach Beendigung des Fahrzyklus in einem nichtflüchtigen Speicher 360, beispielsweise in einem E²-PROM, gespeichert und vor Beginn des darauffolgenden Fahrzyklus als Initialisierungswerte für die weitere Adaption verwendet, wie es in Fig. 3 durch einen mit "INIT" bezeichneten Pfeil 362 schematisch dargestellt ist. Es ist an dieser Stelle zu bemerken, daß zur Berechnung der Spannungsdifferenz ΔU_{ist} für das vorbeschriebene Verfahren nicht die maximale Spannung U_{max} (vgl. Fig. 2) verwendet werden kann, wie es in der DE 103 158 15.4 beschrieben ist, sondern die Abschaltspannungsschwelle U_{Ab} da U_{max} als verwendbare Größe in einem an sich bekannten Motorsteuergerät, in dem auch diese Regelung ausgeführt wird, nicht vorliegt. Die Kompensation des Spannungsbedarfs-Drifts ist aber auch bei Verwendung der Größe Abschaltspannung U_{Ab} gegeben.

Um sicherzustellen, daß die Adaption nur bei einer tatsächlich vorhandenen Drift des Spannungsbedarfs vorgenommen wird, das heißt die Regler 331, 332, 33n nur in diesem Falle regeln und nicht etwa bei temporären kleineren Abweichungen, die beispielsweise durch Temperatureffekte, durch den dynamischen Betrieb usw. hervorgerufen werden, ist eine in einer Schaltungseinheit 370 implementierte Freigabelogik-Schaltung vorgesehen, welche typische Parameter für die Freigabe der Adaption überwacht. Diese Parameter der Brennkraftmaschine und/oder des Einspritzventils sind beispielsweise die Temperatur der Brennkraftmaschine und/oder der Raildruck und/oder der stationäre Zustand der Spannungsregelung und/oder der Zustand der Ladezeitregelung und/oder der stationäre Zustand anderer unterlagerter Regelkreise und/oder die Anzahl der Einspritzungen und/oder die Ansteuerdauer und/oder die Einspritzsequenz pro Arbeitsspiel, das heißt gewissermaßen das Einspritzmuster (Voreinspritzung(en), Haupteinspritzung, Nacheinspritzung(en)). Ob beispielsweise ein stationärer Zustand der Spannungsregelung vorliegt wird durch Vergleich der Größe $U_{\text{sollkor}} und U_{Regel} überprüft. Nur wenn U_{sollkor} und U_{Regel} übereinstimmen werden von der Schaltungseinheit 370 die PI-Regler 331, 332 ... 33n freigeschaltet, so daß die vorbeschriebene Anpassung der Differenz ΔU_{ist} an ΔU_{soll} stattfinden kann und dadurch die Drift des Spannungsbedarfs adaptiert werden kann.$

Wenn die Prüfung dagegen ergibt, daß die Aktorspannungsregelung nicht stationär ist, wenn also U_{sollkor} von U_{Regel} abweicht, werden durch die Freigabelogik-Schaltungseinheit 370 die PI-Regler 331, 332, ... 33n abgeschaltet und die Korrekturwerte $S_1, S_2, \dots S_n$ bleiben unverändert, werden gewissermaßen eingefroren. Die Korrektur des Spannungssollwerts an den Schaltpunkten 341/342 erfolgt weiterhin mit den bis dahin erlernten Werten $S_1, S_2, \dots S_n$. Ein solches "Einfrieren" der Korrekturwerte ist möglich, da die Injektordrift sehr langsam erfolgt.

Das vorbeschriebene Verfahren kann zunächst nur an einem Arbeitspunkt (Raildruck) vorgenommen werden und die gewonnenen Korrekturwerte für alle Arbeitspunkte verwendet werden. Zur Erhöhung der Genauigkeit kann das Verfahren auch an mehreren unterschiedlichen Arbeitspunkten (Raildrucken) durchgeführt werden.

Darüber hinaus ist hervorzuheben, daß der Vergleich eines injektorindividuellen Korrekturwertes $S_1, S_2, \dots S_n$ der ein Maß für die Abweichung des Spannungsbedarfs von der Norm darstellt, mit einem vorgebbaren Schwellwert, zusätzlich zu Diagnosezwecken verwendet werden kann. Auf diese Weise ist eine Diagnose des Systems Aktor 2, Koppler 4 und Schaltventil, gebildet durch das Ventilschließglied 12 möglich.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Ansteuerspannung eines piezoelektrischen Aktors wenigstens eines Injektors, mit dem eine Flüssigkeitsmenge unter Hochdruck in einen Hohlraum, insbesondere in einen Brennraum einer Brennkraftmaschine, eingespritzt wird, wobei die Ansteuerspannung in Abhängigkeit von dem Druck, mit dem die Flüssigkeitsmenge beaufschlagt ist, variiert wird, dadurch gekennzeichnet, daß eine Drift der für einen vorgegebenen Hub eines Schaltventils des Injektors benötigten Ansteuerspannung (Spannungsbedarf) injektorindividuell durch Regelung der Differenz zwischen Abschaltspannungsschwelle und stationärer Endspannung auf einen für einen Arbeitspunkt vorgegebenen Sollwert geregelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelung während eines Fahrzyklus eines die Brennkraftmaschine aufweisenden Fahrzeugs erfolgt und die während des Fahrzyklus ermittelten Korrekturwerte in einem nichtflüchtigen Speicher gespeichert werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die in dem nichtflüchtigen Speicher gespeicherten Korrekturwerte in einem späteren Fahrzyklus als Initialisierungswert für eine Regelung in diesem Fahrzyklus verwendet werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine Freigabe der Regelung in Abhängigkeit von der Brennkraftmaschine und/oder das Einspritzventil charakterisierenden Parametern erfolgt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Freigabe in Abhängigkeit von einem oder mehreren der folgenden Parameter erfolgt: Temperatur der Brennkraftmaschine, Raildruck, stationärer Zustand der Ladezeitregelung, stationärer Zustand der Spannungsregelung, Ansteuerdauer, Anzahl der Einspritzungen, Einspritzsequenz, Regelabweichung unterlagerter Regeleinrichtungen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelung bei verschiedenen Arbeitspunkten ermittelt wird und die Korrekturwerte in Korrekturkennfeldern abgelegt werden.

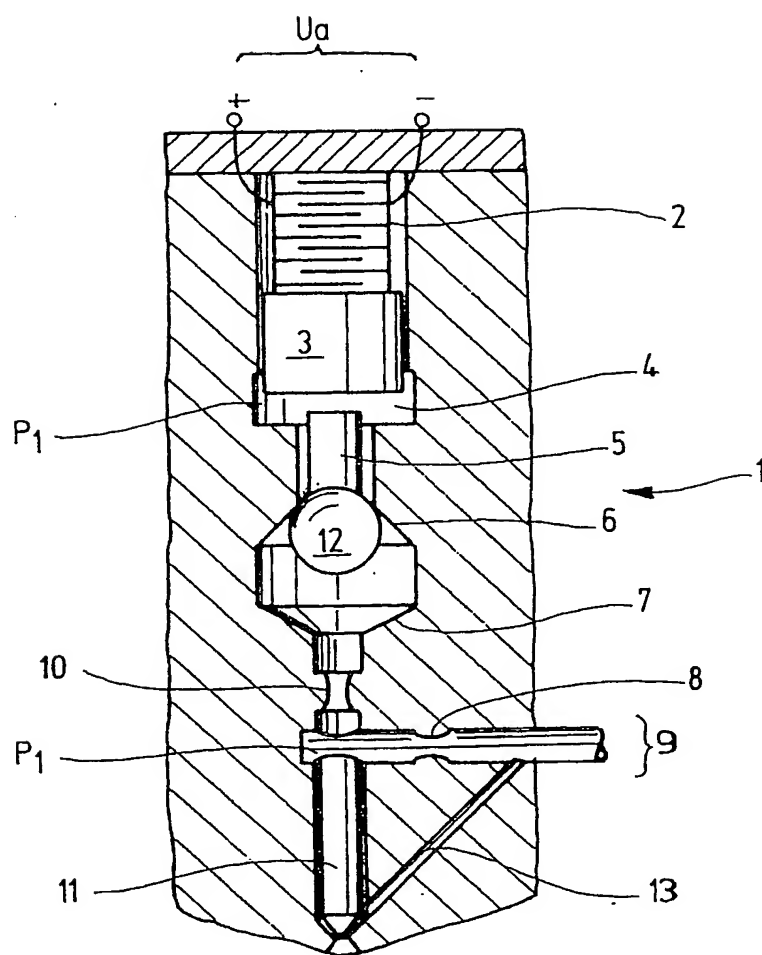


Fig.1 (Stand der Technik)

2 / 3

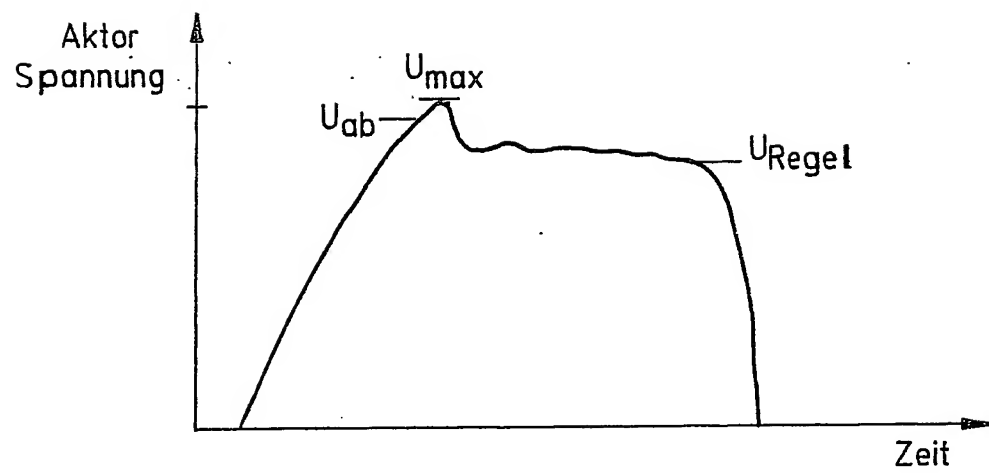


Fig.2

